



## Sistema 350 Topcon: guiado hacia la agricultura de precisión

En este artículo presentamos las características técnicas principales, el procedimiento de calibración y uso, así como las sensaciones que tuvimos al probar el sistema de guiado 350 de Topcon durante una jornada de campo el 20 de diciembre de 2012 en Yuncos de Henares (Guadalajara).



Barreiro, P.; Diezma, B.; Moya, A.; Valero.

LPF\_TAGRALIA, CEI\_Moncloa.

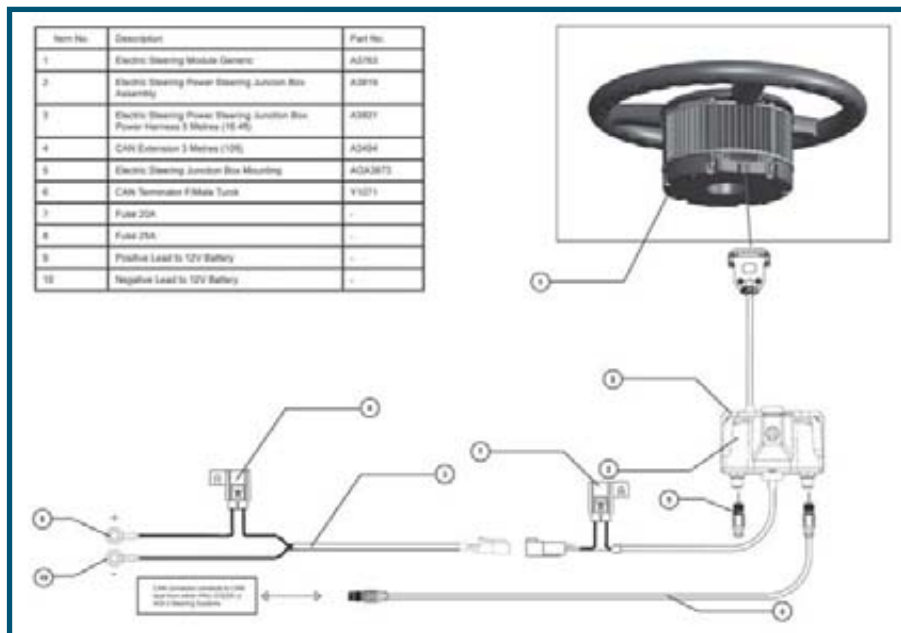
En los sistemas de guiado cabe distinguir entre los que denominaremos visuales, que son sistemas de asistencia mediante barras de luces en los que es el conductor en todo momento el que mantiene el control del vehículo, y los sistemas automáticos que a su vez se clasifican en asistidos e integrados. En los primeros encontramos un motor eléctrico o rodillo que desplaza el volante para ajustarse a una consigna de rumbo, mientras que los integrados actúan directamente a nivel de la dirección hidrostática, sobre el orbitrol, a partir de la información de un sensor angular de rueda. En este caso hemos ensayado el sistema 350 de guiado automático de Topcon, que incluye la nueva consola X30 (**cuadro I**) y la dirección AES-25 (**cuadro II**), consistente en un volante eléctrico que se sitúa directamente sobre el eje del volante sin modificación mecánica o hidráulica del tractor, quedando totalmente integrado en la columna de la dirección (**figura 1 y foto 1**).

Los elementos básicos de un sistema de autoguiado son el receptor GPS y la antena, que se encuentran juntos en un solo componente que dispone además de un sensor inercial de baja precisión (**foto 2**); así como la pantalla que tiene precargado el software de planeamiento de trayectorias (**foto 3**). A este conjunto básico puede incorporarse un módulo de mayor precisión en la localización que consta de un módem de comunicación GSM para la recepción de la corrección vía internet, y de una antena UHF para la comunicación con una base RTK, que queda perfectamente integrado en el anterior y por tanto resulta muy compacto. En el módulo de precisión se incorpora además otro sensor inercial de mayor calidad de manera que, en conjunto, este elemento está duplicado, empleándose solo la señal de este último cuando el módulo de precisión está montado. En los tractores que tienen preinstalado un sistema de guiado (a nivel de la dirección hidrostática) solo es necesario incorporar la antena y la pantalla; en el resto, hay que instalar además el volante eléctrico.

El volante eléctrico que emplea el sistema Topcon dispone de un codificador incremental (encoder) para determinar el ángulo de giro de forma precisa. Dispone de un motor concéntri-

**Figura 1**

**Detalles de la instalación del volante eléctrico AES-25 (Doc. Topcon).**



**Foto 1.** El sistema 350 de guiado automático de Topcon incluye la dirección AES-25, consistente en un volante eléctrico que se sitúa directamente sobre el eje del volante sin modificación mecánica o hidráulica del tractor.



**Foto 2.** Los elementos básicos de un sistema de autoguiado son el receptor GPS y la antena, que se encuentran juntos en un solo componente.



**Foto 3.** Otro elemento básico es la pantalla, que tiene pre-cargado el software de planeamiento de trayectorias.

co al eje. El kit de montaje viene con un volante universal y un adaptador que es intercambiable, lo que lo hace flexible para todos los tractores y cosechadoras del mercado. Este as-

pecto es muy destacable, dado que hay grandes diferencias de unos a otros, pudiendo ser de estrías, cónicos o con chaveta. Además, Topcon España garantiza la adaptabilidad, dado

## CUADRO I. Especificaciones de la consola X30 Topcon (Doc. Topcon).

Especificaciones de la consola X30	
Dimensiones	328 x 268 x 55 mm
Peso	1,75 kg
Montaje	Sistema de montaje RAM
Temperatura de trabajo	-30° a 60° C
Temperatura de almacenamiento	-40° a 75° C
Protección	Impermeable IP67
Alimentación	9 V - 36 V entrada (protección de voltaje y polaridad) Baterías internas de N-MH (2000 mA/h, 7,2 V)
Visualización	31 cm, 1024 x 768 LVDS RGB Pantalla táctil capacitiva proyectada Retroiluminación LED 1.000 cd/m²
Procesador, memoria y arquitectura	Procesador Intel, 1,6 GHz 1 GB DDR2 533 MHz RAM Compact flash de 4 GB (hasta 32 GB opcionales) COM-Express System-on-Module SOM
Entrada/Salida Puertos	4 USB 2.0, todos utilizables para arrancar, 500 Ma 1 lateral y 1 posterior, 2 incorporados Serie 4 RS-232 1ea. RX/TX/CTS/RTS/GND 3ea. RX/TX/GND 1 RJ45 Ethernet 100 Base-T, 100 Mbps, trasero 4 CANBUS (ISO11783 compatible) E/S digital de 4 canales 1 canal analógico en módulo Bluetooth®
Exterior	Interruptor de alimentación (por programa) 2 frontales con LED de diagnóstico vinculados a RGB Carcasa frontal con sensor de iluminación ambiental
Audio	Mono de 2 W interno y externo Conexión externa de auriculares estéreo

que ellos mismos pueden obtener el molde del volante original y fabricar el adaptador en casos específicos, manteniendo posteriormente los datos en una base de datos general para casos afines.

Para el control del volante se parte de un archivo general por defecto y posteriormente se realiza un ajuste fino de la respuesta del guiado para los distintos aperos, labores y velocidades de trabajo. Este ajuste debe saber hacerlo el usuario (se describirá posteriormente) a partir de la información del error instantáneo que se irá reflejando en la pantalla durante el trabajo.

El volante eléctrico dispone de un disipador de calor pues es capaz de mover direcciones incluso del tipo Iveco y distintos tipos de direcciones servo-mecánicas mucho más exigentes en potencia que las hidrostáticas. También dispone de un kit específico para John Deere en el caso de columnas de dirección telescópicas. Se trata de un motor de flujo axial sin escobillas que es alimentado de forma independiente con un fusible de protección propio debido al elevado consumo de potencia.

El sistema de autoguiado evaluado AES-25 dispone como consola de un terminal Iso-bus con la barra de luces integrada, que puede estar activada o no, según demande el usuario.

En cuanto a los aspectos de seguridad cabe mencionar los procedimientos de desconexión del sistema de guiado. Obviamente, el operador puede desconectar el sistema actuando sobre el icono correspondiente en la consola o actuando directamente sobre el volante con una fuerza superior a 111 N (la ISO10998 Agricultural tractors- Requirements for Steering establece el límite de 250 N). Además se incorporan una serie de procedimientos automáticos basados en diferentes eventos, como que se detecte un fallo en las comunicaciones o se produzcan valores anómalos en los parámetros de funcionamiento (voltaje, temperatura, etc.), que la velocidad exceda un límite o caiga por debajo de un umbral, o que el operador no ocupe su asiento durante un tiempo superior a un periodo prefijado.

## Ajustes preliminares

El día 20 de diciembre, en Yuncos de Henares (Guadalajara) se realizó la verificación en campo del sistema, realizándose desde el montaje de la antena identificando sus distintos componentes, hasta los ajustes preliminares y la calibración.

Al iniciar el equipo a través de la consola

**Figura 2**

**Definición de trayectorias de trabajo.**



X30 hay que comenzar aceptando los términos de responsabilidad en el uso de los sistemas de autoguiado (imprescindible), para posteriormente acceder a una pantalla de trabajo en la que observamos el número de satélites accesibles (puede emplear simultáneamente GPS y Glonass), la precisión, la velocidad real, el rumbo y la distancia a la línea de trabajo más cercana. La precisión de trabajo es seleccionable: WAAS, Egnoss, Omnistar (VBS, XP, HP), RTK, RTK con módem GPRS, RTK con acceso a antenas virtuales. Nosotros hemos trabajado fundamentalmente en RTK con acceso GPRS al servidor de corrección Topnet de Topcon.

En un primer momento aparece en pantalla una indicación de que nos encontramos en un posicionamiento RTK flotante hasta que se resuelven las ambigüedades de precisión y pasa a la indicación de RTK fijo ( $\pm 2$  cm). En este sistema nos encontramos conectados a una red pública de corrección RTK a la que se accede vía internet mediante el módem GSM y de ahí que sea importante disponer de cobertura de móvil.

El siguiente punto es la selección de la pantalla de dirección que puede ser a vista de pájaro o en 3D. En esta pantalla aparece clara-

mente reflejado el norte geográfico. En esta imagen es posible superponer una gradilla con el número de líneas de trabajo dentro del perímetro de la parcela de manera que durante la labor dispondremos de información relativa al área total, área cubierta, productividad (ha/h), tiempo restante, notas personales, etc.

Existen distintos tipos de rutas de trabajo seleccionables (**figura 2**): líneas, curvas, pivót, curva adaptativa (copia la última línea) o patrón de tráfico controlado. En caso de disponer de un apero Iso-bus, el terminal virtual lo reconoce inmediatamente y aporta su información en pantalla. También puede mostrar cámaras de vídeo externas.

Cuando en la pantalla el icono del volante aparece en blanco, esto indica que el sistema está preparado para funcionar, cuando está en verde el autoguiado está activo, y si aparece en rojo no está disponible, bien porque no se hayan realizado todos los ajustes necesarios (por ejemplo la selección del controlador de velocidad), o bien porque no se disponga de la suficiente precisión.

Entre los ajustes necesarios se encuentra la selección del tractor, de entre todos los definidos por el usuario. Otro ajuste a seleccionar es el punto de enfoque (lejos o cerca), que indica la longitud al punto de referencia visual que, habitualmente, tiene un valor de 20 m y refiere a la proyección del rumbo a esa distancia para cotejar el error previsible.

El sistema de autoguiado 350 de Topcon aporta además un control de secciones para la realización de tratamientos con dosis variable, así como un control proporcional al avance para independizar dosis y velocidad. Aunque el control por tramos es posible, a día de hoy son pocos en España los que lo están empleando, pero es previsible su incremento en el futuro. El sistema Topcon dispone además de una señal de control digital que puede emplearse para realizar nuevos desarrollos, y es capaz de comunicarse con una amplia variedad de controladores de aperos: Amazone, Hardi, Vicon, etc., para integrarlos al sistema y compartir información en pantalla. Se puede además activar la salida de datos de los mensajes GPS (GGA, VTG, etc.) en un puerto NMEA lo que nos permite disponer de una salida auxiliar para distintos controladores que necesiten la velocidad real de avance. También dispone de la posibilidad de aportar una salida de radar con una señal pulsada de mayor o menor frecuencia en función de la velocidad de avance.

Un aspecto muy importante a la hora de

## CUADRO II. Especificaciones del sistema de dirección eléctrica AES-25 de Topcon (Doc. Topcon).

Especificaciones AES-25	
Motor	De flujo axial sin escobillas
Alimentación	12 VDC nominal
Temperatura de trabajo	-20° a 60° C
Temperatura de almacenamiento	-40° a 80° C
Dimensiones	38 x 38 x 21 cm (aprox)
Cumplimiento EMC	Marca CE, Ctick, FCC
Compatibilidad	Sistemas 150, 200/250 y 350 (Topcon)



trabajar con un sistema de autoguiado es la descripción de la geometría del tractor (**foto 4**): batalla, altura de la antena, radio dinámico de la rueda, descentrado de la antena respecto al eje longitudinal del tractor, distancia de la antena al eje trasero del tractor, así como la geometría del implemento: acople fijo o articulado, distancia respecto al tercer punto, descentrado, ancho de trabajo y velocidad de respuesta que indica el retardo a la apertura y cierre en el caso de existir control por tramos. En el apero además se ha de definir la dosis por defecto, así como el ajuste manual de incrementos.

Estos ajustes son laboriosos, sobre todo



**Foto 4.** Un aspecto muy importante a la hora de trabajar con un sistema de autoguiado es la descripción de la geometría del tractor.

en lo que atañe a la definición de las distintas geometrías, pero se realizan solo una vez, puesto que los distintos tractores y aperos quedan grabados y pueden ser precargados a demanda.

## Calibración

Para el correcto funcionamiento de un sistema de autoguiado se ha de proceder a la calibración del sistema siguiendo un procedimiento asistido en fases que va apareciendo en pantalla. Se comienza con la calibración del compás magnético de rumbo que requiere realizar una vuelta y media con el tractor lejos de fuentes de alta tensión y de grandes objetos metálicos. Esta calibración puede mantenerse durante meses dependiendo de las condiciones locales, especialmente en lo que atañe al paso cerca de fuentes de interferencia electromagnética elevada como las mencionadas anteriormente. El siguiente paso requiere avanzar en línea recta 100 m y guardar la calibración del compás.

La última fase refiere la corrección del error

de posicionamiento debido a la inclinación del tractor. Nuevamente siguiendo las instrucciones de la pantalla, se avanza en línea recta 70 m a 2 km/h y el sistema posteriormente realiza de forma automática dos trayectos de ida y vuelta para verificar que el error se encuentra dentro de la tolerancia ( $\pm 2$  cm en el sistema RTK fijo).

Este proceso nos llevó apenas 20 minutos y, como hemos indicado, en ocasiones no ha de realizarse en meses.

## Trabajo en campo

Tras todos estos prolegómenos, comenzamos el trabajo en campo realizando todo tipo de rutas con el equipo instalado en un tractor Fendt 818 Vario (**foto 5**): línea, curvas, curva adaptativa y control de tráfico controlado, las cuales iremos describiendo a continuación.

El procedimiento de trabajo es sencillo: mientras permanecemos próximos a la línea de trabajo el sistema de dirección es automático (el volante aparecerá en verde) y se recupera el control manual cuando se llega a las cabeceras.

En el trazado de líneas rectas pudimos apreciar fielmente, tanto en la pantalla de error instantáneo como manualmente, que los errores se situaban dentro de la tolerancia. En este caso, el error se ajusta al máximo disponible según el nivel de precisión del sistema de guiado, en nuestro caso RTK fijo. Al llegar a las ca-

beceras, la pantalla nos va indicando la aproximación a la siguiente línea de trabajo. En función de la mayor o menor apertura del giro, la siguiente línea será consecutiva o no, pero podremos observar en todo momento el área trabajada si seleccionamos el modo cobertura (**figura 3**). La posibilidad de trabajar en líneas alternas es interesante en aquellos casos en los que el viraje resulte complejo, pues el tiempo accesorio se verá notablemente reducido aumentando la capacidad de trabajo efectiva del sistema.

Cuando comenzamos a realizar pasadas en curvas pudimos rápidamente comprobar que tanto el error instantáneo en pantalla, como el determinado manualmente sobre las rodadas, superaban con creces la tolerancia

## Figura 3

**Pantalla con información sobre el área trabajada.**



**Foto 5.** Fendt 818 Vario en el que se instaló el equipo de Topcon para la prueba.

del sistema de posicionamiento ( $\pm 2$  cm) especialmente a elevada velocidad (10 km/h), en trayectos descendentes con curvas cerradas. Esto es algo habitual y está ampliamente descrito en las hojas divulgadoras de la Universidad de Nebraska (EC 706, Adamchuk 2008), por eso es importante tenerlo en cuenta y si elegimos la opción de trayectos en curvas debemos reducir la velocidad de la labor y vigilar el error instantáneo que se nos ofrece en la pantalla. Hay que tener en cuenta que en el caso de trayectorias curvas a alta velocidad, el error cometido es más amplio debido a la necesidad de reajustar la dirección de forma dinámica. En este sentido, el volante integrado es un elemento de elevada calidad, muy superior a los dispositivos de control de tipo rodillo. Aun así, los sistemas integrados superan en calidad a ambos y son especialmente relevantes en estos casos.

Actualmente ya se encuentra disponible una mejora que ha realizado Topcon incorporando al volante integrado un sensor de rueda de manera que la respuesta de este autoguiado se aproxime aún más al de los sistemas integrados, los cuales también ofrece la marca como alternativa.

En todo caso, es posible mejorar la respuesta dinámica del control de dirección ajustando dos parámetros: velocidad de respuesta en línea y agresividad al acercamiento. Estos parámetros son especialmente importantes en su ajuste cuando los aperos demandan mucha carga o tienen esfuerzos laterales relevantes como en la labor de arada con vertedera.

Una opción interesante en el sistema Topcon es la posibilidad de cargar un patrón completo de trabajo en campo desde un fichero externo generado con Google Earth. En este caso puede trabajarse en modo tráfico controlado (figura 4) y es posible conseguir que el tractor trabaje en modo automático incluso en las cabeceras, dado que el sistema sigue una trayectoria continua desde el inicio hasta el final. Para ello, se emplean siempre giros tipo omega (en curva) y nunca en T, y es importante que la trayectoria se haya generado con curvas suaves de manera que el error en el control sea mínimo. Recordamos que cuanto más cerrada es una curva mayor es el control de dirección necesario y más relevante la respuesta dinámica del sistema. Esta opción no había sido nunca verificada por el personal del Topcon en campo

**Figura 4**

**Pantalla para la habilitación del modo tráfico controlado (Doc. Topcon).**



y suscitó un gran interés por parte del usuario que había puesto a nuestra disposición el tractor y la parcela. La generación de patrones de trabajo en campo es laboriosa pero solo ha de realizarse una vez y de año en año puede ser recargada. De ahí que se adapte especialmente al sistema de tráfico controlado, donde lo que se pretende es que las rodadas del tractor siempre se produzcan en el mismo sitio, de manera que la compactación del terreno se reduzca drásticamente. Este sistema está ampliamente validado en Australia, y existen vídeos muy interesantes a disposición de los interesados (<http://www.controlledtrafficfarming.com>), comprobándose su idoneidad especialmente en aquellos terrenos que tiendan a compactarse en profundidad.

## Conclusiones

El sistema de guiado Topcon 350 es un sistema modular que puede adquirirse con distintos niveles de precisión. Es un sistema escalable, pues puede adquirirse el nivel básico que da acceso a sistemas GPS diferenciales para posteriormente ser mejorado a RTK. Dentro de esta última posibilidad puede emplearse con base fija o bien con conexión GPRS, resultando más económico en este segundo caso, dado que solo es necesario disponer de una antena.

El sistema de autoguiado verificado con volante integrado es de una muy elevada potencia, lo que le confiere una velocidad de respuesta significativamente mayor que los sistemas de rodillo y que le hace aproximarse a los

sistemas de autoguiado integrados.

El software de control de rutas permite programar de forma sencilla trayectorias lineales, curvas, curvas adaptativas y rutas de tráfico controlado, incluso a partir de rutas pre-grabadas en Google Earth.

El procedimiento de calibración del sistema que incluye la verificación del sensor compás, es sencillo y dispone de un procedimiento guiado paso a paso para su realización en campo.

La precisión del autoguiado verificada a partir de los valores instantáneos en campo que se reflejan en el interfaz (acompañados de pequeñas verificaciones manuales) se aproxima a la tolerancia ( $\pm 2$  cm) en trayectorias lineales incluso trabajando a velocidades superiores a 10 km/h. En las trayectorias curvas la precisión es menor (el error instantáneo puede multiplicarse por 10 o 15) cuanto más cerradas son las curvas y especialmente a velocidades elevadas (superiores a 10 km/h) debido a la corrección de rumbo requerida en pocos milisegundos. Por ello, la experiencia del operador a la hora de evaluar la calidad del trabajo es importante, así como disponer de parámetros de ajuste fino para la corrección del rumbo dentro de la línea, y de la agresividad en el acercamiento a la línea; estos parámetros son función del tipo de apero y de la velocidad a la que se realice la labor, y su efecto puede ser relevante según los casos.

Probar en campo un sistema de guiado con una precisión RTK de  $\pm 2$  cm como éste, es una experiencia que cambia drásticamente al usuario, pues permite verificar aumentos significativos de la eficiencia energética al minimizar solapamientos innecesarios, permitir in situ la supervisión de la cobertura y optimizar el número de líneas de cultivo para un mismo ancho de parcela. Este sistema incluye además sistemas de control por tramos y control proporcional al avance para pulverizaciones y abonados a emplear en estrategias de agricultura de precisión, y comunica automáticamente con una amplia variedad de dispositivos electrónicos de diversos fabricantes: Amazone, Hardi, etc. Permite asimismo generar señales de control para dispositivos externos (generar señales de radar o códigos NMEA para la verificación de velocidad real de avance), y su terminal con barra de luces integrada es una pantalla que recoge automáticamente la información de cualquier apero Isobus y de cámaras de visión externas. ●